



# Mineralkväve i åkermark

– vilka faktorer påverkar nivåerna och hur kan höga värden undvikas?

---

*Mineral nitrogen in arable soils after harvest – what factors affect the levels and how can high values be avoided?*

Sigrid Tirén

Självständigt arbete i markvetenskap • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap/Institutionen för mark och miljö

Agronomprogrammet mark/växt

Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU, 2020:18

Uppsala 2020



## Mineralkväve i åkermark – vilka faktorer påverkar nivåerna och hur kan höga värden undvikas?

*Mineral nitrogen in arable soils after harvest – what factors affect the levels and how can high values be avoided?*

Sigrid Tirén

**Handledare:** Karin Hamnér, Institutionen för mark och miljö, SLU  
**Bitr. handledare:** Katarina Börling, Jordbruksverket (SLU Global fr.om. 2019)  
**Examinator:** Holger Kirchmann, Institutionen för mark och miljö, SLU

**Omfattning:** 30 hp  
**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå, A1E  
**Kurstitel:** Självständigt arbete i markvetenskap - magisterarbete  
**Kurskod:** EX0728  
**Program/utbildning:** Agronomprogrammet inriktning mark/växt 270 hp  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för mark och miljö

**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2020

**Serietitel:** Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU  
**Delnummer i serien:** 2020:18

**Nyckelord:** kvävegödsling, ekonomiskt optimal kvävegiva, mineralisering, höstvet

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för mark och miljö

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.



## Sammanfattning

Kväve är ett viktigt näringsämne inom växtodlingen och för att uppnå en hög skörd med en hög kvalitet behöver kväve tillföras odlingen genom kvävegödsling. Att tillföra en allt för hög kvävegödselmängd kan öka mängden mineralkväve som blir kvar i marken efter skörd, vilket ökar risken för att kväve ska utlakas eller denitrifieras. Mängden mineralkväve i marken kan ge en indikation för hur stor risken för kväveläckage från en jord är.

Syftet med denna studie var att undersöka hur olika kvävegivor påverkar skörd och proteininnehåll, vilka faktorer som påverkar mängden mineralkväve i marken samt hur mineralkvävemängden i marken efter skörd påverkas av den ekonomiskt optimala kvävegivan.

Data från försöksserie L3-2299 som genomfördes 2016–2018 användes i denna studie. I försöken odlades höstvetete på 11 platser varje år som gödslades med olika kvävegivor. I några led togs jordprover (0–30 & 30–60 cm) för att bestämma mängden mineralkväve i marken efter skörd.

En ökad kvävegiva resulterade i att kväveskörden, som påverkas av både kärnskörden och proteininnehåll, och mineralkvävet i marken ökade. Hur stor ökningen av mineralkväve i marken blev skiljde sig mellan olika jordarter och mellan de år som försöket utfördes. Mängden mineralkväve i marken beror till viss del på kvävegödslingsgivan, kväveskörden och markens mineralisering men systemet är komplext och andra faktorer har också en inverkan på mängden.

Vid kvävegödslingsnivåer över den ekonomiskt optimala kvävegivan ökar mängden mineralkväve i marken. Den ekonomiskt optimala kvävegivan är en bra gödslingsgiva att sträva efter för en hög och kvalitativ skörd och för att minska risken för stora mängder mineralkväve i marken efter skörd. Det är dock svårt att förutbestämma den optimala givan då den kraftigt varierar mellan olika platser och år.

*Nyckelord:* kvävegödsling, ekonomiskt optimal kvävegiva, mineralisering, höstvetete



## Abstract

Nitrogen is an important nutrient in crop production. To reach a high yield and high quality, nitrogen needs to be added to the crop through fertilization. By adding too much nitrogen fertilizer, the amount of mineral nitrogen left in the soil after harvest can increase and thereby the risk for nitrogen losses by leaching and denitrification. The amount of mineral nitrogen in the soil can give an indication of the risk of nitrogen leaching from the soil.

The aim of this study was to examine how different nitrogen rates effect the yield and protein content, which factors that effects the amount of mineral nitrogen in the soil and also how the content of mineral nitrogen in the soil is affected by the economically optimal nitrogen level.

Data from the field trial series L3-2299 carried out 2016-2018 was used in the study. In the field trials winter wheat was cultivated at 11 locations each year and was fertilized with different nitrogen rates. In some of the plots, soil samples (0-30 & 30-60 cm) was collected to determine the amount of mineral nitrogen in the soil after harvest.

The results showed that an increase in nitrogen fertilization rate increased both the nitrogen harvest, including both grain yield and protein content, and the amount of mineral nitrogen in the soil. However, the mineral nitrogen content in soil and the impact of the different factors differed a lot between the different sites and years. The mineral nitrogen content in the soil was dependent on the nitrogen fertilization rate, the nitrogen harvest, and the mineralization but the system is complex and other factors effects as well.

At nitrogen fertilization rates above the economical optimum, the amount of mineral nitrogen in the soil increased. The economically optimal nitrogen dose could be a nitrogen level to strive for to get a high yield with a good quality and reduce the risk of high amount of mineral nitrogen in the soil. However, it is a challenge to predict the optimal rate due to variation between sites and years.

*Keywords:* nitrogen fertilizer, economically optimal nitrogen level, mineralization, winter wheat

## Populärvetenskaplig sammanfattning

Kväve är ett viktigt näringsämne inom växtodlingen som påverkar både grödans kvalitet och storleken på skörden. Det är därför viktigt att gödsla grödan med kväve för att få en hög skörd med en bra kvalitet, men det är negativt både för lantbrukarens ekonomi och för miljön att gödsla med för stora mängder som grödan inte kan ta upp eftersom det ökar risken för kväveläckage och övergödning. Ett sätt att uppskatta risken för kväveläckage är att mäta mängden mineralkväve som finns kvar i marken efter skörd, då mängden mineralkväve i marken speglar hur mycket kväve som riskerar att läcka vid stora nederbördsmängder.

I denna studie har jag analyserat data från ett treårigt regionalt kvävegödslingsförsök som pågick mellan 2016–2018. I försöket gödslades höstvetete med olika mängder kväve, från 0 till 320 kg N/ha, på elva platser i södra och mellersta Sverige. Syftet var att ta reda på hur olika kvävegivor påverkar höstvetets skörd och kvalitet, vilka faktorer som påverkar mängden mineralkväve i marken samt hur mineralkvävemängden i marken efter skörd påverkas av den ekonomiskt optimala kvävegödslingen.

Mängden mineralkväve i marken påverkades av kvävegödslingsnivån, grödans kväveupptag och markens mineralisering. Dessa faktorer påverkar varandra men även yttre faktorer så som temperatur och nederbörd har en inverkan. Ett sätt att minska risken för stora mängder mineralkväve i marken är uppskatta den ekonomiskt optimala kvävegivan och styra gödselmängden efter den. Om man lyckas pricka den ekonomiskt optimala gödslingsgivan ger det en hög skörd med önskad proteinhalt samt en liten risk för stora mängder mineralkväve i marken, då den största ökningen av mängden mineralkväve i marken främst skedde vid kvävegivor över den ekonomiskt optimala kvävegivan. Det kan vara svårt att förutbestämma den optimala givan då den varierar mellan olika platser och år beroende på yttre faktorer så som nederbörd och temperatur. Att anlägga nollrutor och dela kvävegivan gör det lättare att pricka rätt.



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>7</b>
2.1	Kväve	7
2.1.1	Kväve i marken	7
2.2	Höstvete – utveckling och kväveupptag	10
2.3	Optimerade kvävegivor och strategier	12
<b>3</b>	<b>Material och metod</b>	<b>14</b>
3.1	Upplägg och analys av försöksserien L3-2299	14
3.1.1	Försöksplatser	15
3.1.2	Databearbetning	17
3.2	Statistiska analyser	18
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>19</b>
4.1	Väder odlingssäsongerna 2016–2018	19
4.2	Kväveupptag	21
4.3	Mineralkväve i marken efter skörd	23
4.3.1	Effekt av kvävegödslingsnivå	23
4.3.2	Effekt av kväveminerialisering	25
4.3.3	Balansberäkning	27
4.4	Ekonomiskt optimal kvävegiva	28
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>31</b>
5.1	Vilka faktorer påverkar mineralkvävemängden i marken efter skörd?	31
5.1.1	Effekt av kvävegödselgivan på kväveskörden och mängden mineralkväve i marken efter skörd	31
5.1.2	Mineraliseringens effekt på mineralkvävet i marken	32
5.1.3	Andra faktorer som påverkar mineralkvävemängden i marken	33
5.1.4	Avvikande värden	35
5.2	Hur kan man undvika stora mängder mineralkväve i marken efter skörd?	35
5.3	Åtgärder vid stora mängder mineralkväve i marken	36
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>37</b>
	<b>Referenslista</b>	<b>38</b>



# 1 Inledning

Kväve är ett näringsämne som har stor inverkan på lantbruksgrödors kvalitet och avkastning. Det är därför viktigt att tillföra tillräckliga mängder kväve, medan allt för höga nivåer är negativt ur miljösynpunkt då det ökar risken för utlakning som kan resultera i övergödning i omkringliggande sjöar och hav (Gooding, 1997). En allt för hög kvävegödsling är även negativt ur en ekonomisk synvinkel då kväve är en kostsam utgift i lantbruket. Därför är det viktigt att sträva efter en kväveeffektiv odling, som ger en hög skörd med hög kvalitet och samtidigt medför så lite negativ miljöpåverkan som möjligt. En faktor som kan säga hur stor risken för utlakning från en jord är, är mängden mineralkväve i marken efter skörd. En stor mängd mineralkväve i marken ökar risken för att kväve utlakas eller denitrifieras, men hur stor risken är beror också på jordarten och vattenmängden i marken (Lindén, 2017; Aronsson, 2003a). Kvävegödslingen och markens mineralisering tillför kväve till marken medan kväveskörden tar bort kväve, varför dessa parametrar är intressanta att studera.

Syftet med arbetet var att studera hur olika kvävegivor påverkar skörd och proteininnehåll i höstveten samt vilka faktorer som påverkar mängden mineralkväve i marken. Målet med detta arbete var att bidra med en förbättrad kunskap om hur mineralkvävet i marken varierar och hur skördenivå, kvävegödslingsnivå och markens egenskaper påverkar mängden efter skörd, samt hur stora mängder mineralkväve i marken kan undvikas.

De frågeställningar som detta arbete kommer svara på är följande:

- Hur påverkas skördenivåer och proteininnehåll i höstveten av olika kvävegivor?
- Hur mycket mineralkväve finns kvar i marken efter skörd och hur påverkar kvävegödselnivå, mineralisering och skörd av höstveten?
- Hur förhåller sig den ekonomiskt optimala kvävegivan till mängden mineralkväve i marken efter skörd?

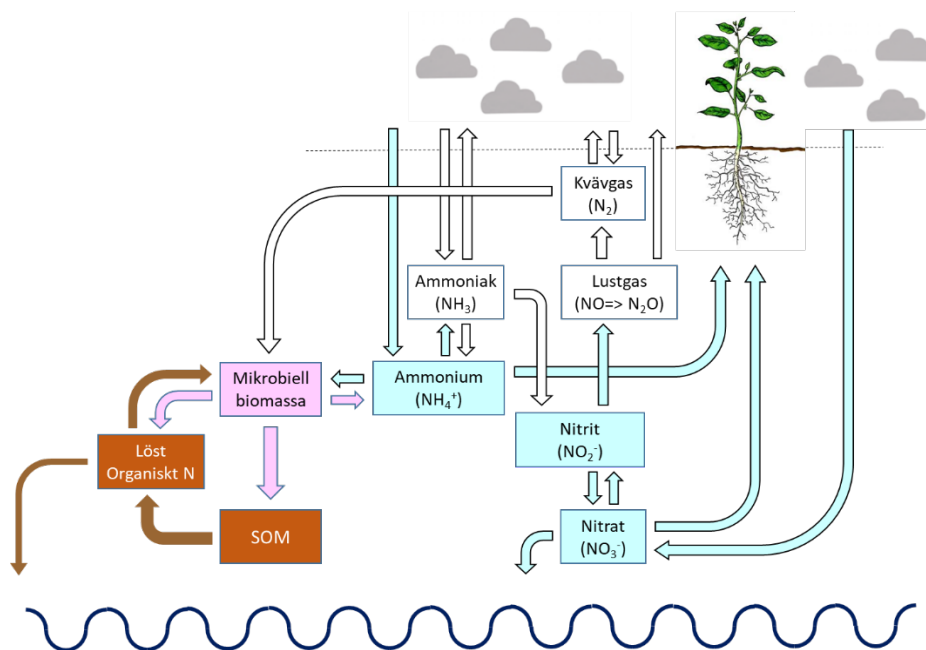
## 2 Bakgrund

### 2.1 Kväve

Kväve är en viktig skördebegränsande faktor i alla grödor och är en av de mest skörde- och kvalitetsstyrande faktorerna i höstveteodlingen (Fogelfors, 2015). Kväve är ett viktigt makronäringsämne för plantan som bygger proteiner, nukleinsyror, klorofyll samt vissa hormoner. Plantan kan gödslas med organiskt kväve eller mineralkvävegödsel. Vanliga mineralgödselformer är ammoniumkväve ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) eller urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), dock är urea ett ovanligt gödselmedel i Sverige men vanligt i många andra länder. Plantan tar främst upp kväve i form av nitrat och ammonium (Marschner, 2012).

#### 2.1.1 Kväve i marken

Kväve förekommer i olika former i marken, dels som lösta joner och lösliga organiska föreningar i markvätskan, dels som adsorberade eller fixerade  $\text{NH}_4^+$ -joner i lermineral, samt i bunden form i organiskt material (Eriksson, 2011). Kvävet cirkulerar i ett kretslopp (Figur 1).



Figur 1. Kvävet kretslopp (Björn Lindahl, 2019)

### Mineralisering och nitrifikation

Mineraliseringen är en process som under mikrobiell aktivitet omsätter organiskt kol till koldioxid och frigör organiskt bundna mineralämnen, där organiskt bundet kväve omsätts till oorganiskt kväve (Figur 1). Processen anrikar organiskt material som är svårnedbrutet, även kallat humus. Hur mycket som mineraliseras och aktiviteten på mikroorganismerna beror på substratets och mikrofloras sammansättning samt miljöbetingelserna. Majoriteten av mikroorganismerna som utför mineraliseringen är beroende av syre för att kunna respirera, vilket gör att processen styrs av syretillgången, dock finns det några mikroorganismer som kan utföra mineraliseringen anaerobt. Marktemperatur och markfukt är två faktorer som styr mineraliseringsprocessen. Mineraliseringen ökar med stigande marktemperatur och processen är beroende av viss markfukt för att fungera, men kan saktas ner vid allt för torra eller blöta förhållanden (Gooding, 1997). Försök har visat att temperaturen i marken har en stor betydelse för mängden kväve som mineraliseras och att mineraliseringen är störst under sommaren (Lindén, 2006; Nilsson, 2000). Det organiska kvävet fortsätter att mineraliseras under hela året så länge det finns fukt och tillräckligt mycket värme, med låg eller ingen aktivitet under vintern (Tate, 2000). Försök har visat att mängden mineralkväve som mineraliseras även kan påverkas av lerinnehåll i marken och mängden organiskt material (Delin & Lindén, 2002). En hög lerhalt gör att jorden kan hålla stora mängder vatten, något som påverkar markens processer. Lerhalten påverkar även jordens struktur och aggregatbildningen, vilket påverkar mikroorganismernas tillgång till det organiska materialet (Adu & Oades, 1978).

Mineraliseringen påverkas av de odlade grödorna, genom deras förmåga att utnyttja kväve samt deras kväveefterverkan, men även odlingssystemets inriktning exempelvis jordbruk med eller utan djurhållning. Om marken har en stor kvävemineralisering innebär det både mycket mineralkväve till växande gröda under växtsäsongen samt en frigörelse av en stor mängd kväve under hösten (Lindén, 2005). Om grödan skördas på hösten kan mineraliseringen fortgå utan en gröda som fångar upp mineralkvävet vilket gör att mängden i marken ökar (Lindén, 2017).

Samtidigt som mikroorganismerna mineraliserar organiskt material sker en immobilisering av oorganiskt kväve genom fastläggning i den biomassa som de tillväxande mikroorganismerna utgör. En ökning av den mikrobiella biomassan ökar endast om det finns tillgång till växtnäringssämnen samtidigt som det finns stora mängder energi, och att miljöbetingelserna är gynnsamma (Tate, 2000). För att det ska ske en nettomineralisering, där det finns oorganiskt kväve löst för växterna att ta upp, måste markens C/N-kvot vara låg. Om det finns stora mängder kväve i förhållande till kol i marken sker det en nettomineralisering över tid (Gooding, 1997).

Vid aeroba förhållanden kan ammoniumjoner som bildats vid nettomineraliseringen eller blivit tillförda marken genom gödsling oxideras av mikroorganismer till nitrat, den processen kallas nitrifikation. Nitrifikationsprocessen är tvådelad, där ammonium i det första steget omvandlas till nitrit och i det andra steget omvandlas nitrit till nitrat. Processen är beroende av viss markfukt för att fungera, och vid för blöta förhållanden sjunker aktiviteten på grund av att för lite syre finns tillgängligt (Tate, 2000).

#### *Kväveförluster*

Kväve som inte tas upp av grödan kan försvinna från jordbruksmarken genom flera förlustvägar och kan ha en negativ påverkan i naturen vid t.ex. utlakning från jordbruksmark till sjöar och vattendrag. Det är en stor risk för utlakning av kväve från odlingsmarker som innehåller stora mängder nitrat, då nitrat är en negativt laddad jon vilket gör den lätttrörlig i markvätskan, medan ammonium som är en positivt laddad jon kan bindas till negativa lerpartiklar (Fageria, 1997). En ökad mängd mineralkväve i marken ger en ökad risk för kväveförluster, men markens jordart påverkar hur mycket kväve som riskerar att läcka (Lindén, 2017). En jord med stor andel ler tenderar att läcka mindre kväve än en sandjord, eftersom lerpartiklarna kan utgöra bindningsytor för nitratjoner och därmed minskar mängden lösta joner i markvätskan (Gustafson, 1983). I försök på en styv lera utlakades endast en mindre del av det mineralkväve som mineraliserats under säsongen och kunde då utnyttjas av grödan året därpå, jämfört med utlakningen från en moränlättilera, samt en lerig sandig grovmo och en lerig sandig mo där utlakningen var större (Lindén, 2017; Aronsson, 2006; Aronsson, 2003a; Aronsson, 2003b). Gödslingsnivåerna av kväve påverkar hur mycket som kan utlakas. I försök med stigande kvävegödsling på styv

lera ökade koncentrationerna av nitrat i utlakningsvattnet (Aronsson, 2006), vilket även skedde på en lättare jord (Delin & Stenberg, 2014). Valet av bearbetningsmetod och tidpunkten för bearbetningen påverkade utlakningen, där plöjning gav upphov till en större mängd kväve som utlakades medan reducerad bearbetning gav upphov till en mindre mängd. En tidig bearbetning på hösten gav en större utlakning av kväve än om den gjordes senare på hösten. Om bearbetningen istället gjordes på våren minskar utlakningen ytterligare, däremot var effekten olika för olika jordarter (Aronsson, 2003a; Stenberg *et al.*, 1999). Storleken på avrinningen har också en stor påverkan på hur mycket kväve som utlakas från en jord. En hög avrinning kan ta med sig mineralkväve från marken (Aronsson, 2003a; Gustafson, 1983). Även organiskt bundet kväve kan utlakas när organiskt material finns löst i markvätskan (Eriksson, 2011).

Anaeroba förhållanden i marken kan uppkomma genom vattenmättnad eller packad jord, men även i aggregat i jord med god struktur. Under dessa förhållanden kan denitrifikation ske (Eriksson, 2011). I denitrifikationen används nitrat som syrekälla för mikroorganismerna och innebär att nitrat reduceras till kvävgas som avgår till luften. Reduceringen går i flera steg och en del nitrat kan också reduceras ofullständigt och lämna jordprofilen som lustgas ( $N_2O$ ) eller kväveoxid (NO) (Tate, 2000). Försök visar att denitrifikationen är högre i tyngre jordar som lerjordar än i lättare jordar som sandjordar, vilket kan förklaras genom att lerjordar kan hålla stora mängder vatten och bilda aggregat där en anaerob miljö kan uppstå (Graf *et al.*, 2016; Bouwman, 1996).

## 2.2 Höstvet – utveckling och kväveupptag

Höstvet är ett av de viktigaste och det mest odlade spannmålsslagen i Sverige och utgör basen för svensk spannmålsodling (Fogelfors, 2015). Höstvet är en vinterannuell och är beroende av en vernaliseringsperiod för att den ska lämna den vegetativa fasen och gå in i den generativa fasen (White & Edwards, 2008). Vernaliseringen innebär att plantan behöver utsättas för låga temperaturer under en tid. Utvecklingen för höstvet delas upp i en vegetativ fas och en generativ fas (Taiz *et al.*, 2015). Den vegetativa fasen innebär att plantan anlägger biomassa och bestockar sig och den generativa fasen innebär att plantan utvecklar de organ som ska leda till kärnskorde (White & Edwards, 2008).

Under plantans livstid sker flera processer genom tillväxt och utveckling. Tillväxten avser en kvantitativ förändring genom exempelvis ökad biomassa medan utvecklingen avser en kvalitativ förändring genom bildande av de generativa organen (Fageria, 1997). Plantans utvecklingsstadier kan beskrivas med hjälp av Zadoks

skala, vilket är en skala över utvecklingen med viktiga stadier som visuellt kan studeras i fält (Zadoks *et al.*, 1974). Skalan ger en överskådlig bild av händelseförloppet under växtsäsongen och ger möjlighet att tillämpa en effektiv odling, då den underlättar att odlingsåtgärder så som gödsling sätts in vid rätt tidpunkt för att säkerställa en hög och kvalitativ skörd. Zadoks skala tar hänsyn till yttre synliga skillnader i utvecklingen men säger inte vad som händer inuti plantan, då man inte ser när de reproduktiva organen bildas och det är de som bestämmer utvecklingen (Hay, 2006). Hastigheten på höstvetets utveckling beror på miljöfaktorer, så som temperatur och dagslängd samt plantans genetik (Hay, 2006; Smith & Hamel, 1998).

Skörden beror på tre komponenter (Hay, 2006)

- Antal ax per kvadratmeter
- Antal kärnor per ax
- Kärnvikt

Över tid kan skörden (Y) beskrivas med formeln  $Y = Q \times I \times \epsilon \times H$ . Q är den totala mängden solinstrålning som når växten och I är den del av den totala solinstrålningen som bladverket tar upp.  $\epsilon$  står för hur effektiv växtens fotosyntes är, alltså hur bra plantan omvandlar solljus till energi. H innebär skördeindex, som är tillväxten av plantans ovanjordiska delar som ska sköras (Hay, 2006). Lantbrukaren kan endast påverka några faktorer som påverkar plantans skördepotential, exempelvis genom val av tidpunkt för gödsling och gödslingsnivå, då yttre faktorer samt grödans genetiska material påverkar vilken skörd som lantbrukaren kommer att få i slutänden (Smith & Hamel, 1998).

För att uppnå en hög skörd och önskvärd proteinhalt i kärnan är det viktigt att det finns tillräckligt med tillgängligt kväve för plantan när plantan har störst behov av det. Tidpunkten för kvävegödslingen har en stor påverkan på skörd och kvalitet. 80 % av det totala kväueupptaget sker före kärnfyllningen (Fageria, 1997). En riklig tillgång på kväve i bestockningen resulterar i att den apikala dominansen försvagas i plantan så fler sidoskott kan bildas och utvecklas till axbärande skott. Tillräckligt med kväve bör finnas tillgängligt för plantan vid stråskjutningen när de vegetativa och generativa delarna tillväxer, detta främjar utvecklingen av avkastningskomponenterna. Sidoskotten reduceras om det inte finns tillräckligt med kväve när stråskjutningen påbörjas (Smith & Hamel, 1998). För att uppnå en hög skörd är det därför viktigt att det finns tillräckligt med tillgängligt kväve för plantan i stråskjutningen för att undvika att antalet skott reduceras, dock kan plantan till viss del kompensera färre skott med större kärnor och fler småax. Även under anläggningen av småax och vid differentieringen av dessa är en god tillgång på kväve viktig för att de ska överleva och bilda många fertila blommor per småax och att blomreduktionen



ska minskas. Efter blomningen när antalet sidoskott, axantal och antal småax är satta sker kärnutvecklingen. En god kvävetillgång har en positiv inverkan på kärnans tillväxt, däremot kan många ax leda till lägre medelkärnvikt på grund av konkurrens mellan och inom småaxen om assimilat (Gooding, 1997). Under kärnutvecklingen omfördelas kvävet i plantan och lagras in som protein i kärnan. Kvävetillgången är en av flera faktorer som styr kärnskoroden, för att få en hög skörd måste flera faktorer vara gynnsamma för plantan (Fageria, 1997).

## 2.3 Optimerade kvävegivor och strategier

I höstveteodlingen bör lantbrukaren välja en gödselstrategi som passar gårdens inriktning och kvalitetskrav. Höstvete som ska bli brödvete har andra kvalitetskrav än höstvete som ska bli fodervete, vilket kan motivera olika gödslingsstrategier. Brödvete har en merbetalning för en hög proteinhalt vid avsalu, något som fodervete inte har. För att lättare pricka in rätt kvalitetskrav och minska risken för allt för höga kvävegivor kan totalgivan delas upp på flera tillfällen, något som främst är motiverat vid odling av brödvete på grund av nämnda merbetalning för en hög proteinhalt. Kvävegivan kan delas upp på två eller fler tillfällen och ger utrymme att justera totalgivan om förutsättningarna för den tänkta skördenivån ändras under säsongen (Börling *et al.*, 2018). I bestånd som har få antal skott på våren kan en tidig kvävegiva innan DC 30 ge en positiv effekt på skördenivån (Engström & Bergkvist, 2009). I försök med tvådelad giva har man sett att när sista givan kväve getts strax före axgång (DC 45) så blir skördenivån densamma som när allt kväve getts före stråskjutning, men med en högre proteinhalt och tusenkornvikt (Nilsson, 2016). En sen kvävegiva kan ha en positiv inverkan på mängden protein i kärnan, något som är extra intressant vid odling av brödvete där det krävs en hög proteinhalt för att få sälja det som bröd (Börling *et al.*, 2018). Under senare år har man i flera fältförsök uppmärksammat att man även vid ännu senare gödslingar, fram till avslutad blomning har kunnat påverka både skörd och proteinhalt (Jönsson & Hansson, 2017; Hansson & Krijer, 2016). Flera års kvävestrategiförsök visar att ju senare kompletteringsgödslingen sker desto mindre påverkas merskoroden, däremot blir höjningen av proteinhalten större (Jönsson, 2018).

Ett sätt att ta fram rekommendationer kring gödselgivor för olika skördenivåer är att utifrån försök beräkna ekonomiskt optimala kvävegivor. Den ekonomiskt optimala kvävegivan är enligt Jordbruksverkets skrift *Rekommendationer för gödsling och kalkning* (Börling *et al.*, 2018) när kostnaden för det sista tillförda kilot kväve är lika stor som värdeökningen på skörden. Det innebär att man tar hänsyn till både kostnaden för kväve, som är en stor utgiftspost i odlingen, och värdeökningen av

det tillsatta kvävet i form av högre skörd och/eller förbättrad kvalitet. Rekommendationen, den ekonomiskt optimal kvävegiva, utgår från ett femårsmedelvärde på kostnad för mineralgödsel och pris för avräkning, men dessa rekommendationer är endast ett underlag för hur lantbrukaren bör gödsla då variationer i jordart, väder och andra yttre faktorer påverkar den lokala platsens ekonomiskt optimala kvävegiva.

## 3 Material och metod

Denna studie utgår från data från försöksserien L3-2299 som utfördes under åren 2016–2018. Syftet med försöket var att studera olika kvävegödslingsstrategier i höstvetedling under olika odlingsförhållanden.

### 3.1 Upplägg och analys av försöksserien L3-2299

I försöket odlades olika brödsorter av höstvetes som gödslades med varierande kvävegivor på elva platser i Sverige varje år. Alla platser var på gårdar utan djur och hade stråsäd som förfrukt, men med varierande jordart (Tabell 1–3). För åren 2017 och 2018 uteblev vissa platser i jämförelserna på grund av att de blivit kasserade eller saknade resultat från någon av de undersökta parametrarna, exempelvis mängd mineralkväve i marken efter skörd.

Väderdata för varje plats tog jag från Lantmets väderstationer som låg närmast respektive försöksplats (Se resultat) och SMHI. Från försöket fanns data på ammonium- och nitratinnehåll i marken efter skörd, från jordprover på två nivåer, 0–30 cm och 30–60 cm och som utvärderades i studien. (Tabell 1). Dessa studerades närmare med avseende på skörd- och proteininnehåll i förhållande till mängden mineralkväve i marken efter skörd. Försöket bestod av fyra upprepningar för varje led och data som använts i beräkningarna är medeltal från de fyra upprepningarna. Vid bestämningen av mineralkväve i marken hade jordproverna från de fyra upprepningarna slagits ihop innan analys, vilket gör att upprepningar av dessa mätvärden saknas.

Tabell 1. Giva och tidpunkt för kvävegödsling i de led som jordprov tagits för att mäta mängden mineralkväve i marken efter skörd

Led	Tidig giva Axan (NS 27-4). Farbart, ej frusen mark	Huvudgiva Axan (NS 27-4). Före DC 30	DC 37-39 kalksalpeter	Totalt
1.	0	0	0	0
3.	40	40	40	120
6.	40	80	40	160
7.	40	120	40	200
10.	60	120	60	240
12.	80	160	80	320

### 3.1.1 Försöksplatser

Försöket var placerat i följande län: Skåne, Halland, Västergötland, Örebro, Östergötland, Kalmar, Västmanland och Uppland. Alla platser samt markens egenskaper och odlad höstvetesort redovisas i Tabell 2–4. Jordarterna varierade mellan lätta sandjordar och tunga lerjordar, med olika halt av organiskt material. I samtliga försök odlades brödvetesorter.

Tabell 2. Jordart och höstvetesort på försöksplatserna 2016

Plats nr	Plats	Jordart	Sort
1	Skofteby, Västergötland	måttligt mullhaltig mellanlera	Praktik
2	Mulltorp, Västergötland	måttligt mullhaltig mellanlera	Ellvis
3	Bjärred, Skåne	något mullhaltig moig lättlera	Praktik
4	Borrby, Skåne	måttligt mullhaltig lerig mo	Brons
5	Ängelholm, Skåne	måttligt mullhaltig mellanlera	Julius
6	Löt, Uppland	måttligt mullhaltig styv lera	Julius
7	Åsby, Västmanland	mullrik styv lera	RGT Reform
8	Harplinge, Halland	måttligt mullhaltig mellanlera	Julius
9	Mörbylånga, Öland	måttligt mullhaltig lerig sand	Brons
10	Vreta Kloster, Östergötland	måttligt mullhaltig styv lera	Julius

Plats nr	Plats	Jordart	Sort
11	Vintrosa, Örebro	mullrik mellanlera	Ellvis

Tabell 3. Jordart och höstvetesort på försöksplatserna 2017

Plats nr	Plats	Jordart	Sort
1	Harplinge, Halland	måttligt mullhaltig mellanlera	Ceylon
2	Skofteby, Västergötland	något mullhaltig mjälig lättlera	Brons
3	Mulltorp, Västergötland	måttligt mullhaltig mellanlera	RGT Reform
4	Ängelholm, Skåne	måttligt mullhaltig mellanlera	Ellvis
5	Bjärred, Skåne	något mullhaltig lättlera	Norin
6	Sörby gård, Västmanland	något mullhaltig molättlera	Julius
8	Vikingstad, Östergötland	mullrik styv lera	Julius
9	Vintrosa, Örebro	måttligt mullhaltig mellanlera	RGT Reform
10	Mörbylånga, Öland	något mullhaltig mellanlera	Julius
11	Borrby, Skåne	måttligt mullhaltig molättlera	Praktik

Tabell 4. Jordart och höstvetesort på försöksplatserna 2018

Plats nr	Plats	Jordart	Sort
1	Harplinge, Halland	måttligt mullhaltig lerig mo	Praktik
4	Bjärred, Skåne	mullfattig sandig lättlera	Ellvis
5	Ängelholm, Skåne	något mullhaltig lerig sand	Norin
6	Borrby, Skåne	måttligt mullhaltig molättlera	Brons
8	Balingsta, Uppland	något mullhaltig mellanlera	Julius
9	Vintrosa, Örebro	måttligt mullhaltig mellanlera	Ellvis
10	Mörbylånga, Öland	något mullhaltig molättlera	RGT Reform
11	Vikingstad, Östergötland	måttligt mullhaltig mellanlera	Norin

### 3.1.2 Databearbetning

#### *Balansberäkning*

För att studera vilka faktorer som påverkar mängden mineralkväve i marken efter skörd gjordes en balansberäkning med de faktorer som förväntades påverka mängden. Mängden kväve från kvävegödselgivan och kväveskörden i det ogödslade ledet, som antogs vara mineraliserings storlek, adderades och därefter subtraherades mängden kväve från kväveskörden. Detta speglar tillförsel och bortförsel av kväve under säsongen. Det beräknade värdet från balansberäkningen plottades mot det uppmätta värdet för mängden mineralkväve efter skörd från försöket. Balansberäkningen gjordes för alla led, på alla platser och alla år. För varje plats antogs att mineraliseringen är densamma i alla kvävegödslingsnivåer.

#### *Beräkningar av ekonomiskt optimala kvävegivor*

Jordbruksverket driver genom Greppa Näringen en regional gödslingsrådgivning, och ger varje år ut skriften *Rekommendationer för gödsling och kalkning* som är ett underlag för hur lantbrukare kan gödsla för att möta en god ekonomisk avkastning genom hög skörd och kvalitet med en liten miljöpåverkan. Den gödslingsnivå som de rekommenderar kallas för ekonomiskt optimal kvävegiva och varierar med kostnaden för gödsel och priset för avsalu. Den ekonomiskt optimala kvävegivan räknas fram genom en tredjegrads ekvation, som är baserad på tio års försöksresultat av skörd och proteininnehåll från den regionala försöksverksamheten, vilket försöket L3-2299 som tas upp i det här arbetet är en del i. I försöken odlas höstvetete med olika kvävestegar på jordar utan tillförsel av stallgödsel och med en förfrukt som är stråsäd.

Skörd och proteininnehåll från försöken användes för att beräkna ekonomiskt optimal kvävegiva för varje plats och år. Beräkning av ekonomiskt optimum gjordes på samma sätt som skriften *Rekommendationer för gödsling och kalkning*. Kostnader för gödsel baseras på ett femårsmedelvärde för YARA:s kvävepris (2013–2017). Avräkningspriset för höstvetete baserades på ett femårsmedelvärde (2014–2018) av avräkningspriset från Lantmännens pool 1 pris (medeltal från olika regioner). Rörlika kostnader för tork och transport (25 öre per kilo) räknades bort och en prisjustering för proteinhalt gjordes.

#### *Kvävegivans effekt*

Kvävegivans effekt på kväveskörden och mängden mineralkväve i marken testades genom att plotta kvävegivan mot kväveskörden respektive mängden mineralkväve i marken efter skörd.

Hur stor effekt kvävegivor som avvek från ekonomiskt optimum hade på mängden mineralkväve i marken efter skörd studerades genom att plotta kvävemängden som avvek från den ekonomiskt optimala kvävegivan mot mängden mineralkväve i marken. Nollrutans mineralkvävemängd drogs bort från den totala mineralkvävemängden i marken efter skörd, för att ta bort mineraliseringens inverkan på mineralkvävemängden.

### 3.2 Statistiska analyser

De statistiska analyserna gjordes med programmet JMP. Sambandet mellan balansräkningen och den uppmätta mängden mineralkväve i marken efter skörd studerades med en regressionsanalys. För att bedöma vilken effekt kvävegivan hade på kväveskörden och mängden mineralkväve i marken genomfördes variansanalysmetoden One-way ANOVA (Analysis of variance). Därefter användes Tukey's test för att visa på skillnader mellan de olika gödselgivorna.

Signifikansnivån för alla statistiska tester sattes till 5 % och data antogs vara normalfördelad.

## 4 Resultat

### 4.1 Väder odlingssäsongerna 2016–2018

Väderdata togs från Lantmet och SMHI:s väderstationer som låg närmast försöksplatserna. Temperaturen som redovisas var i medeltal över dygnet för månaderna april till augusti och nederbörden är den totala nederbörden för samma period (Tabell 5).

Våren 2016 var till stora delar varm och det blev ett par varma perioder under april och maj, däremellan var vädret svalare. Våren var även nederbördsfattig i många delar av Sverige. Sommarens väder avvek inte från det normala, däremot var det torka i vissa områden på grund av lite nederbörd tidigare under året. Under perioden april till augusti låg medeltemperaturen på 13–14,5 grader och den totala nederbördsmängden varierade mellan 156 mm (Skofteby) och 429 mm (Ängelholm; Tabell 5). Majoriteten av platserna fick sin nederbörd någorlunda jämnt fördelat under perioden, med undantag för att maj var torr på flera platser.

Våren 2017 var både kall och torr. Värmen kom först i den andra delen av maj. Sommaren blev sval då ett lågtryck höll sig över Sverige under stora delar av sommaren. Medeltemperaturen under perioden april till augusti varierade mellan 12,3–13,5 grader och var därmed något lägre än året innan och den totala nederbörden varierade mellan 93 mm (Mörbylånga) och 381 mm (Harplinge) (Tabell 6). Nederbörden på platserna varierade mellan månaderna. Många av platserna hade lägst nederbörd i maj och de största nederbördsmängderna i juni och augusti.

Säsongen 2018 började med kylig vår, men i maj kom värmen och månaden blev varmare än normalt. Sommaren var ovanligt varm och torr med extrema temperaturer på flera håll i Sverige. Medeltemperaturen för perioden april till augusti låg på



mellan 15,5 (Vintrosa) och 16,7 grader (Bjärred), dvs 2 till 3 grader högre än 2016 och 2017 (Tabell 7). Även den totala nederbörden under samma period skiljde sig från tidigare år då den var lägre på flera platser. Nederbörden varierade under perioden och var som störst under augusti på flera av platserna, medan den var låg under de andra månaderna.

Tabell 5. Medeltemperatur och total nederbörd som uppmätts på väderstationen närmast försöksplatsen 2016

Plats nr	Plats	Medeltemperatur (°C)	Total nederbörd (mm)	Väderstation
1	Skofteby, Västergötland	13,0	156	Lanna
2	Mulltorp, Västergötland	13,4	281	Logården
3	Bjärred, Skåne	14,6	331	Solnäs
4	Borrby, Skåne	13,6	170	Sandby gård
5	Ängelholm, Skåne	14,0	429	Ängelholm
6	Löt, Uppland	13,3	249	Enköping
7	Åsby, Västmanland	13,3	197	Brunnby
8	Harplinge, Halland	14,0	220	Lilla Böslid
9	Mörbylånga, Öland	13,7	209	Mörbylånga
10	Vreta Kloster, Östergötland	13,4	246	Malmslätt
11	Vintrosa, Örebro	13,2	334	Örebro

Tabell 6. Medeltemperatur och total nederbörd som uppmätts på väderstationen närmast försöksplatsen 2017

Plats nr	Plats	Medeltemperatur (°C)	Total nederbörd (mm)	Väderstation
1	Harplinge, Halland	13,1	381	Lilla Böslid
2	Skofteby, Västergötland	12,3	176	Lanna
3	Mulltorp, Västergötland	12,9	263	Logården
4	Ängelholm, Skåne	12,9	379	Ängelholm
5	Bjärred, Skåne	13,5	288	Dagstorp
6	Sörby gård, Västmanland	12,5	122	Brunnby
8	Vikingstad, Östergötland	12,4	248	Fornåsa
9	Vintrosa, Örebro	12,5	270	Vintrosa
10	Mörbylånga, Öland	13,0	93	Mörbylånga

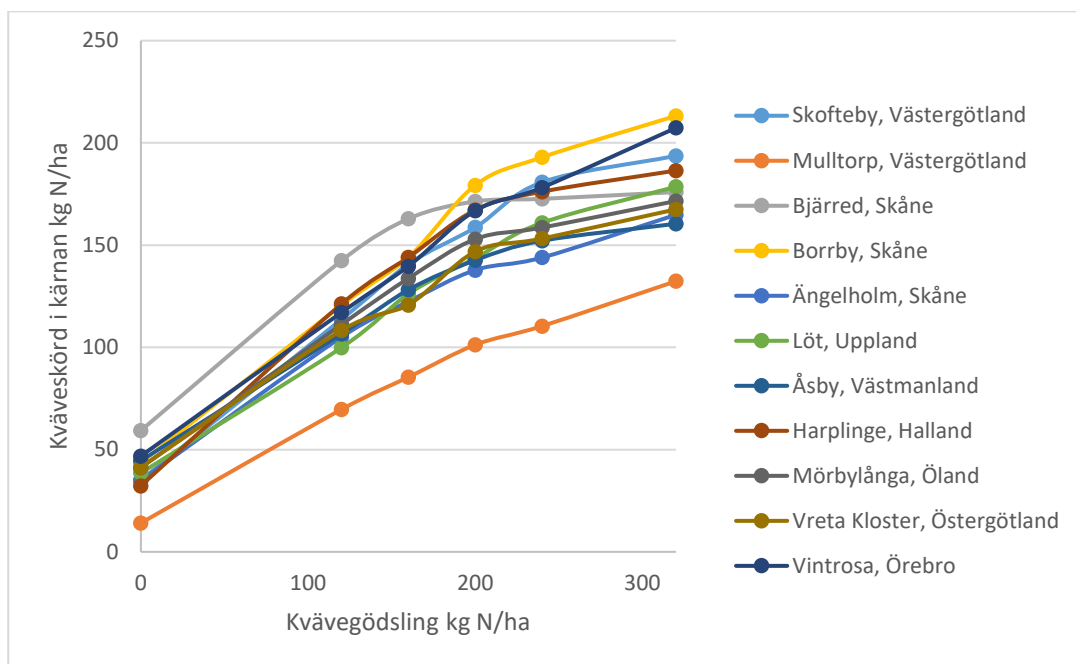
Plats nr	Plats	Medeltempera- tur (°C)	Total nederbörd (mm)	Väderstation
11	Borrby, Skåne	12,7	263	Sandby gård

Tabell 7. Medeltemperatur och total nederbörd som uppmätts på väderstationen närmast försöksplatsen 2018

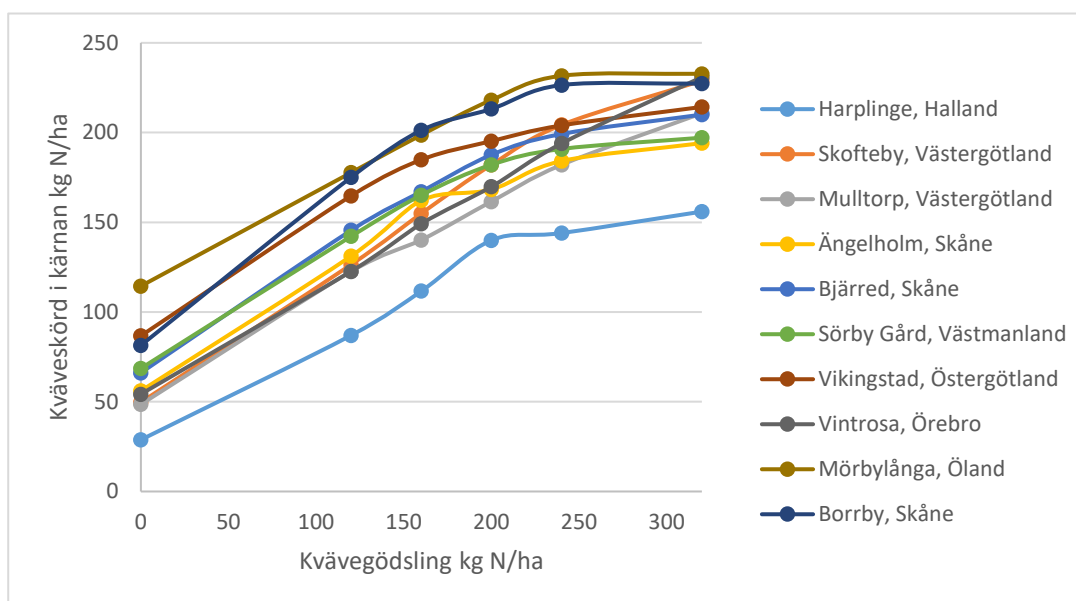
Plats nr	Plats	Medeltempera- tur (°C)	Total nederbörd (mm)	Väderstation
1	Harplinge, Halland	15,7	153	Lilla Böslid
4	Bjärred, Skåne	16,7	176	Solnäs
5	Ängelholm, Skåne	15,8	-	Ängelholm
6	Borrby, Skåne	15,5	112	Sandby gård
8	Balingsta, Uppland	15,5	199	Ultuna
9	Vintrosa, Örebro	15,4	223	Vintrosa
10	Mörbylånga, Öland	15,5	82	Mörbylånga
11	Vikingsstad, Östergötland	15,6	155	Fornåsa

## 4.2 Kväveupptag

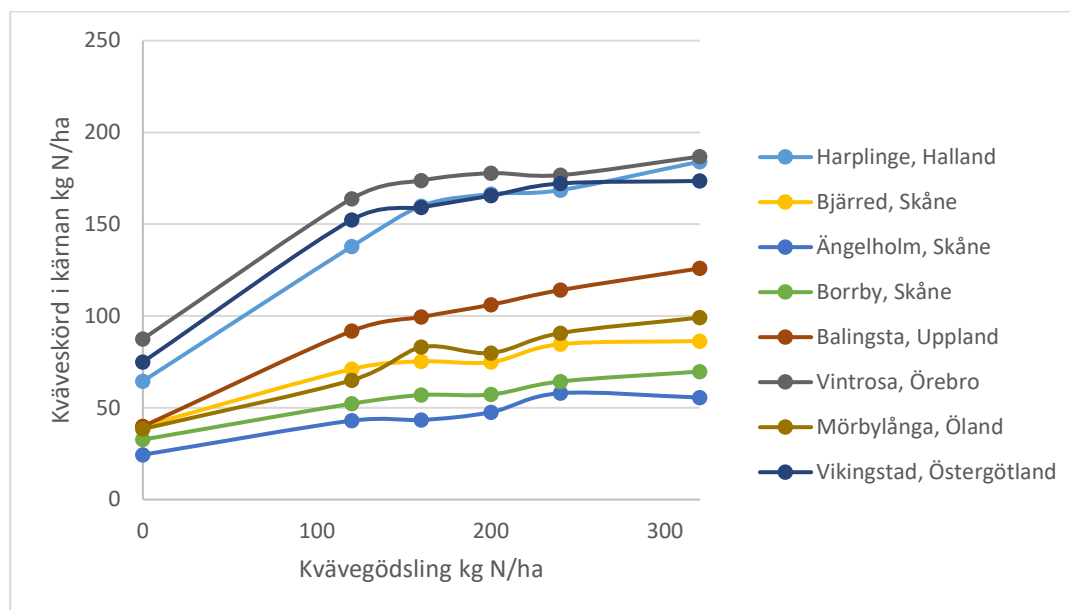
Kväveskörden i kärnan är ett mått på grödans kväveupptag och användes för att analysera responsen av olika kvävegödslingsnivåer (Figur 2–4). Resultatet visade på att kväveskörden ökade med en ökad kvävegödsling alla år och det fanns signifikanta skillnader mellan flera led. På alla platser alla år var det ogödslade ledet signifikant skilt från alla gödslade led ( $p < 0,0001$ ). Den högsta gödslingsnivån (320 kg N/ha) var även signifikant högre än de två lägsta gödslingsnivåerna (120 och 160 kg N/ha). Det fanns ingen signifikant skillnad mellan de tre högsta gödslingsnivåerna (320, 240 och 200 kg N/ha), eller mellan de två lägsta gödslingsnivåerna (160 och 120 kg N/ha). Det största utbytet av kvävegödslingen återfanns vid de lägre gödslingsnivåerna då kurvans lutning var brant (figur 2–4), det innebär att kväveresponsen var hög. Utbytet av tillsatt kväve minskade med en ökad kvävegiva då kurvans lutning avtog. Däremot ökar kväveupptaget med en ökad kvävegödsling i alla gödslingsnivåer. Detta mönster fanns alla åren även om året 2018 skilde sig från de andra åren genom att ha ett lågt kväveupptag i alla gödslingsnivåer på alla platser, även om det fanns undantag så som Mulltorp år 2016 (figur 2) och Harplinge år 2017 (figur 3) då de har liknande lågt kväveupptag som platserna året 2018 (figur 4).



Figur 2. Kvävegödslingens inverkan på kväveskörden 2016



Figur 3. Kvävegödslingens inverkan på kväveskörden 2017



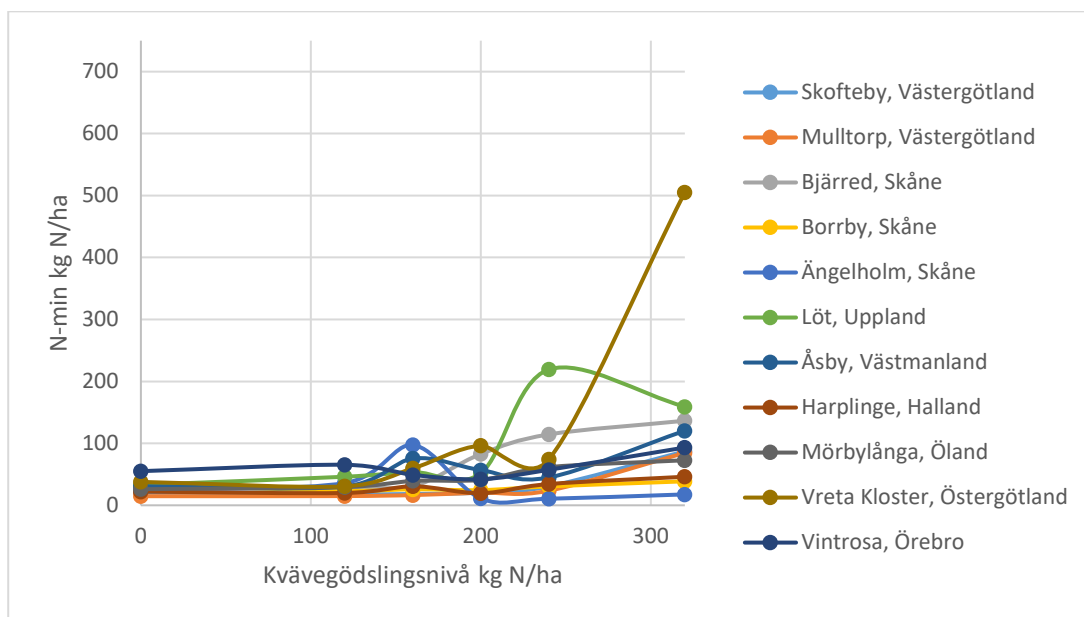
Figur 4. Kvävegödslingens inverkan på kväveskörden 2018.

## 4.3 Mineralkväve i marken efter skörd

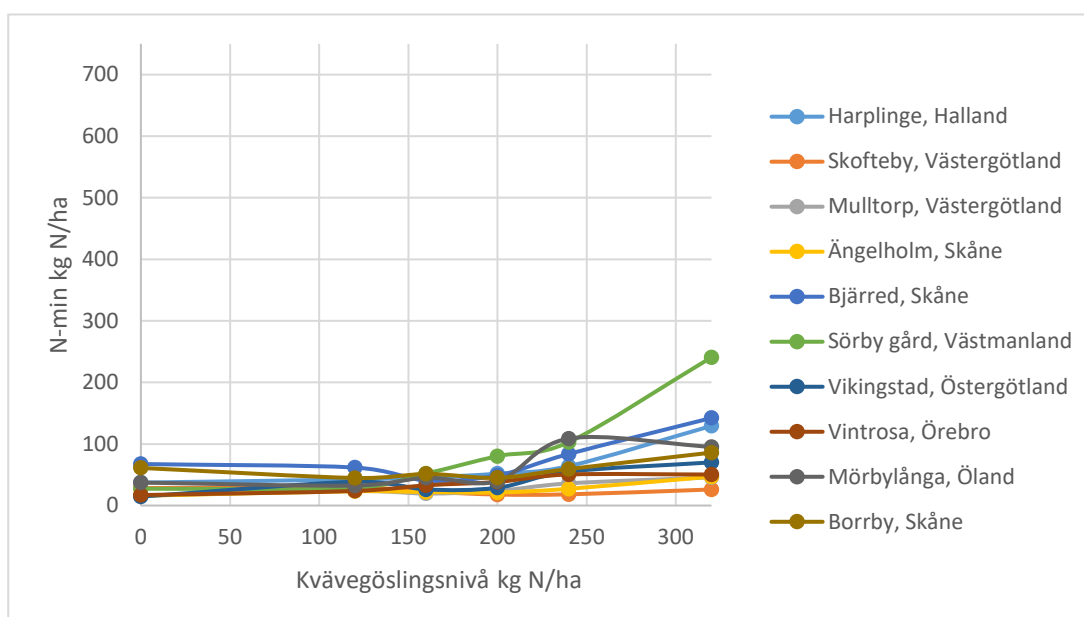
### 4.3.1 Effekt av kvävegödslingsnivå

Resultatet visade på en ökning av mängden mineralkväve i marken (0–60 cm) efter skörd vid en ökad kvävegödslingsnivå, något som skedde alla år (Figur 5–7). Variationerna var stora både mellan platser och år. Sammantaget visade den statistiska analysen att det finns en signifikant skillnad ( $p < 0,0001$ ) i mineralkvävemängden mellan ledet som var gödslat med den högsta gödselgivan (320 kg N/ha) och de andra leden. Det finns ingen signifikant skillnad mellan det ogödslade ledet och leden med gödslingsgivor upp till 240 kg N/ha.

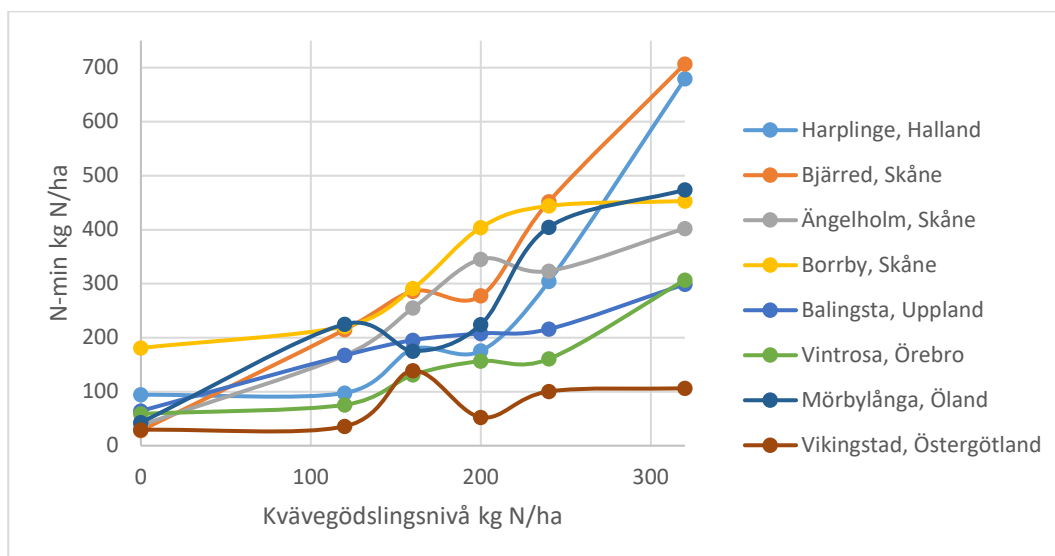
Åren 2016 och 2017 hade flera platser endast en liten eller ingen ökning av mängden mineralkväve i marken trots höga kvävenivåer. År 2018 ökade mängden mineralkväve i marken markant redan vid relativt låga kvävegivor, där Borrby hade högst mängd mineralkväve i marken efter skörd i de lägre kvävegödslingsnivåerna, medan Bjärred hade högst mängd mineralkväve i marken i de två högsta kvävegödslingsnivåerna.



Figur 5. Kvävegödslingens inverkan på mineralkvävet i marken 2016.



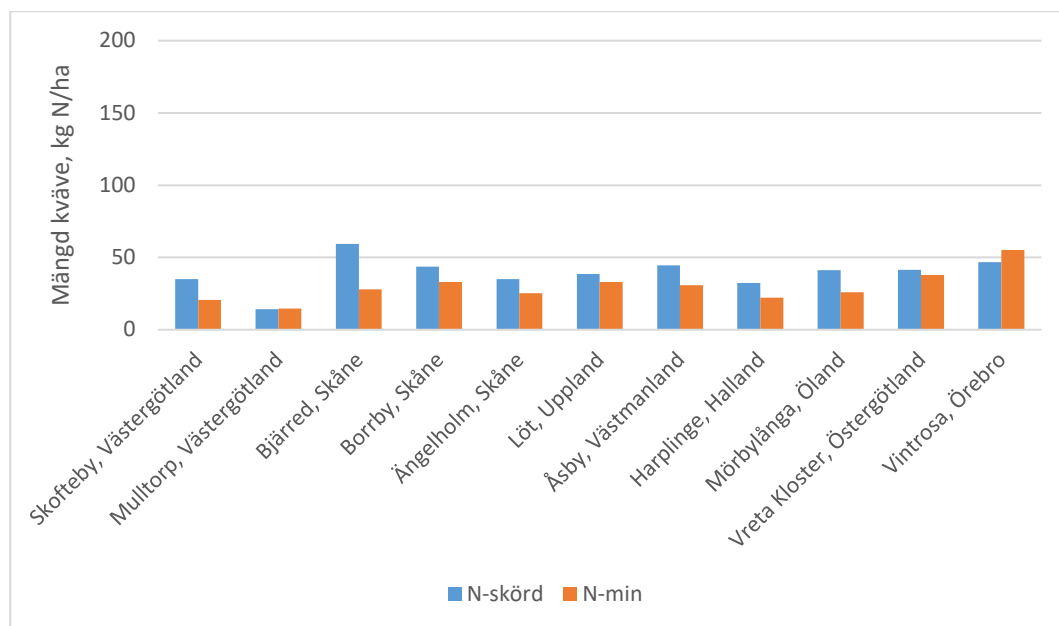
Figur 6. Kvävegödslingens inverkan på mineralkvävet i marken 2017



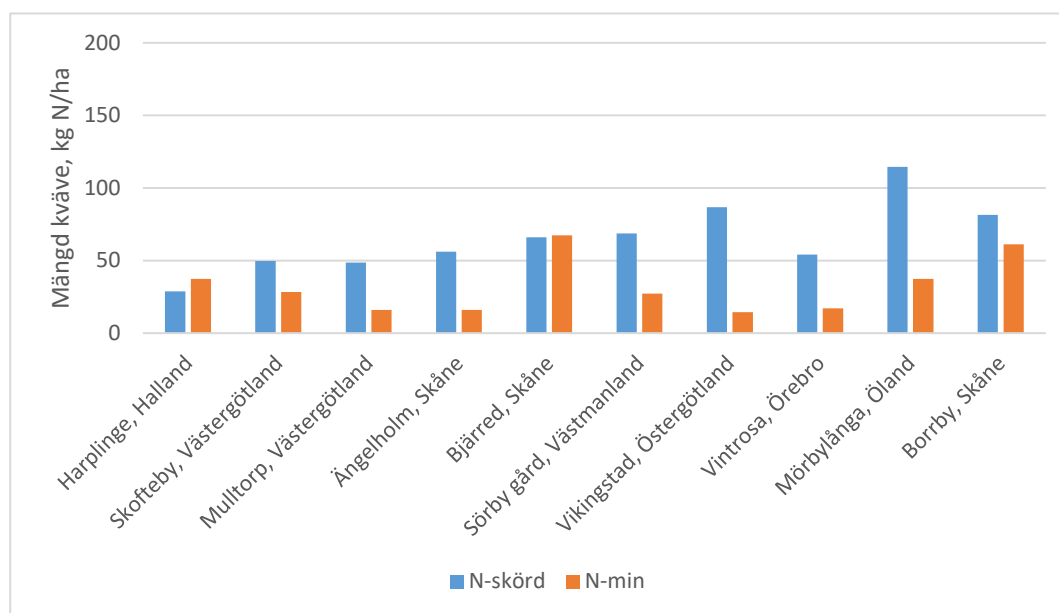
Figur 7. Kvävegödslingens inverkan på mineralkvävet i marken 2018

#### 4.3.2 Effekt av kväve mineralisering

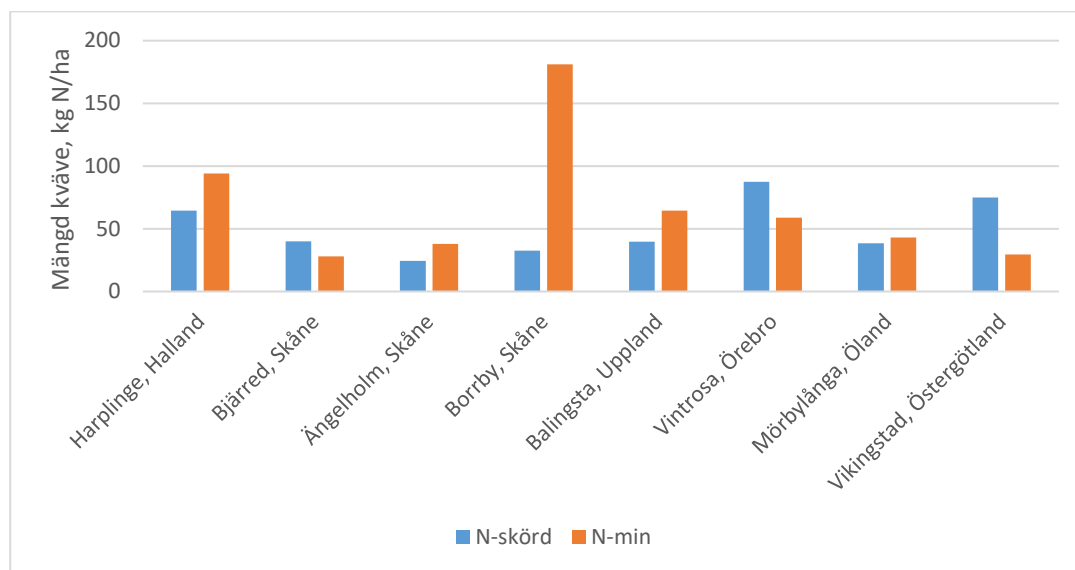
För att analysera effekten av markens kväve mineralisering redovisas kväveskörden och mineralkväve i marken i ogödslade led för 2016–2018 (Figur 8–10). Resultatet visar att det finns skillnader i kväveskörd och mängd mineralkväve i marken efter skörd mellan platser och år. De högsta kväveskördarna uppmättes 2017 (Mörbylånga & Vikingstad) och mineralkvävet i marken var också lågt på flera platser samma år (Vikingstad & Vintrosa). Mineralkvävet i marken efter skörd var högt på flera platser 2018, exempelvis Borrby (181 kg N/ha) jämfört med både 2016 och 2017. Samma år (2018) var kväveskördarna låga på flera platser, med undantaget för Harplinge, Vintrosa och Vikingstad som hade nivåer som är i jämförelse med kväveskörden för flera platser 2016. Harplinge och Borrby 2018 hade störst kväve mineralisering när kväveskörden i ogödslade led och mängden mineralkväve i marken har slagits ihop (Figur 10).



Figur 8. Kväveskörd och mineralkväve i marken i ogödslade 2016



Figur 9. Kväveskörd och mineralkväve i marken i ogödslade led 2017

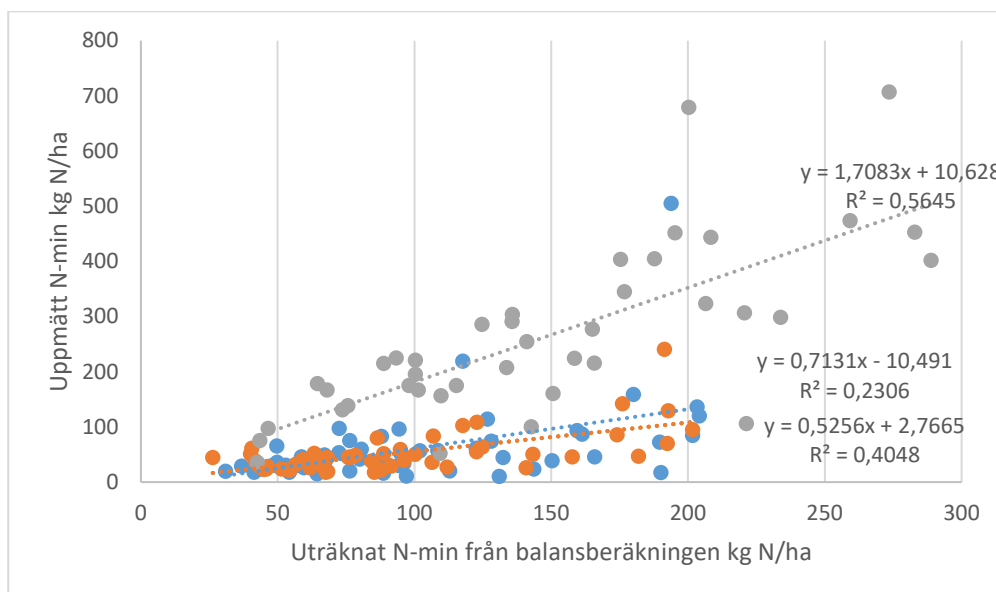


Figur 10. Kväveskörd och mineralkväve i marken i ogödslade led 2018

#### 4.3.3 Balansberäkning

En balansberäkning gjordes för alla led med kvävegiva plus kväveskörd i nollrutan, minus kväveskörd. Värdet i balansberäkningen relaterades till det uppmätta värdet på mineralkväve i marken. En regressionsanalys visade att det fanns ett statistiskt samband mellan det beräknade värdet från balansberäkningen på mineralkvävet i marken och den uppmätta mängden efter skörd ( $p < 0,0001$ ; Figur 11). Det sammanlagda  $R^2$  värdet för åren 2016–2018 var 0,46, vilket visar på ett relativt starkt samband, men som också visar att det finns andra faktorer förutom de som tagits upp i beräkningen som påverkar mängden mineralkväve i marken.





Figur 11. Sambandet mellan den uträknade mängden mineralkväve i marken från balansberäkningen och den uppmätta mängden. De blå punkterna är platser 2016, de orangea punkterna är platser 2017 och de grå punkterna är platser 2018. Det sammanlagda  $R^2$ -värdet för alla åren var 0,459.

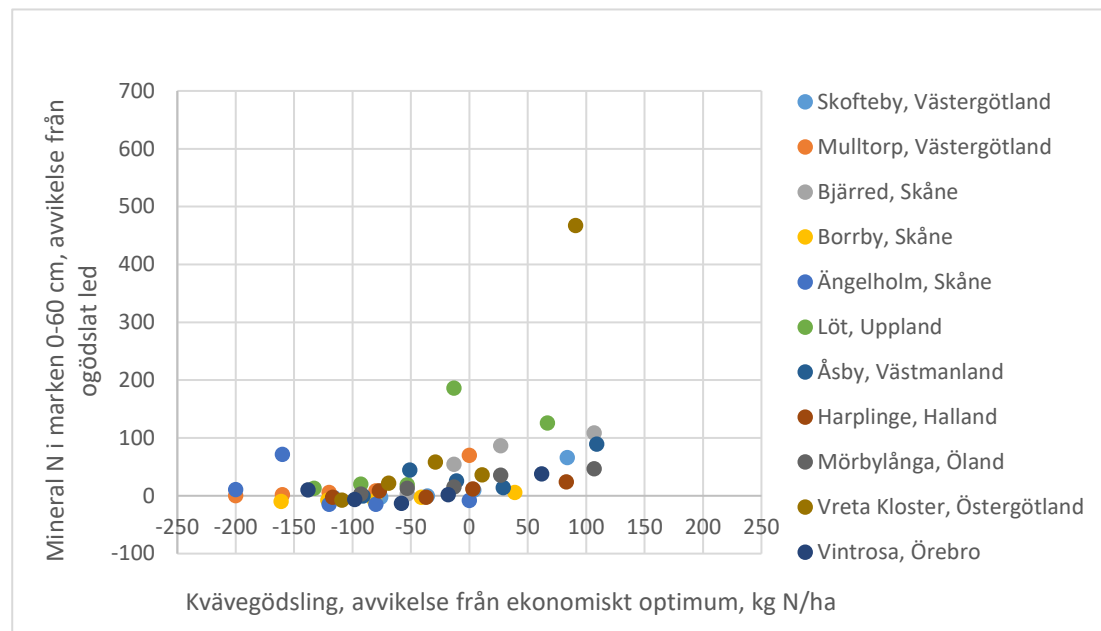
#### 4.4 Ekonomiskt optimal kvävegiva

Den ekonomiskt optimala kvävegivan varierade mellan platserna och mellan åren (Tabell 8). 2016 var den ekonomiskt optimala kvävegivan i medeltal för brödvete 252 kg N/ha och varierade mellan 211 kg N/ha (Åsby) och 320 kg N/ha (Mulltorp och Ängelholm). Den ekonomiskt optimala kvävegivan 2017 för brödvete var i medeltal 242 kg N/ha och varierade mellan 163 kg N/ha (Mörbylånga) och 320 kg N/ha (Mulltorp och Vintrosa). 2018 var den ekonomiskt optimala kvävegivan för brödvete i medeltal 129 kg N/ha och varierade mellan 91 kg N/ha (Mörbylånga) och 183 kg N/ha (Harplinge).

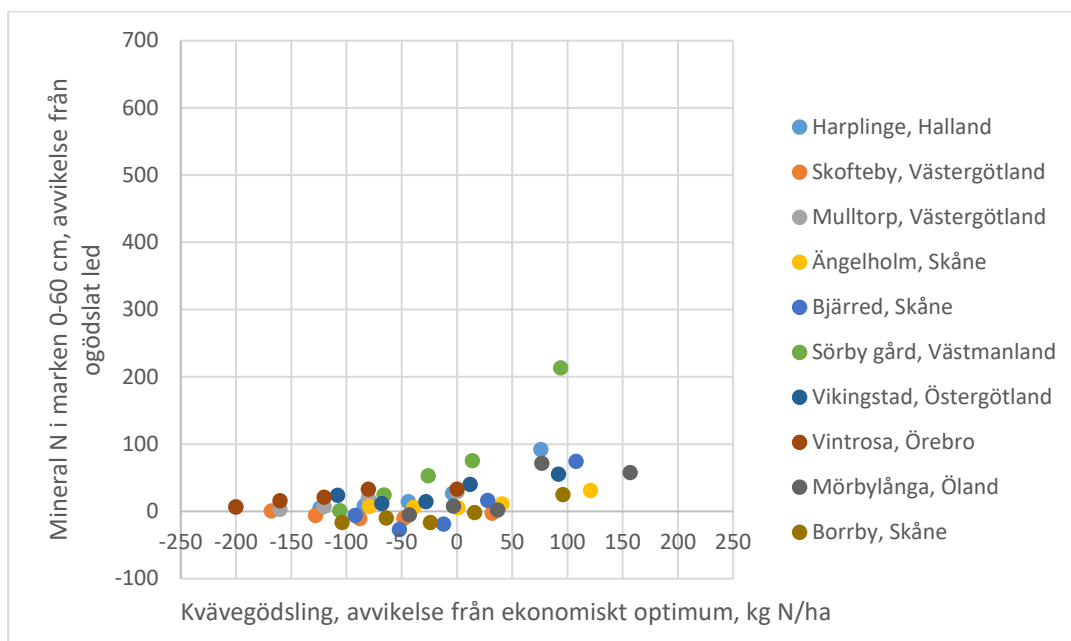
Tabell 8. Den ekonomiskt optimala kvävegivan i medeltal samt lägsta och högsta optimum för de olika platserna

År	Medel (kg N/ha)	Min (kg N/ha)	Max (kg N/ha)
2016	252	211	320
2017	242	163	320
2018	129	91	183

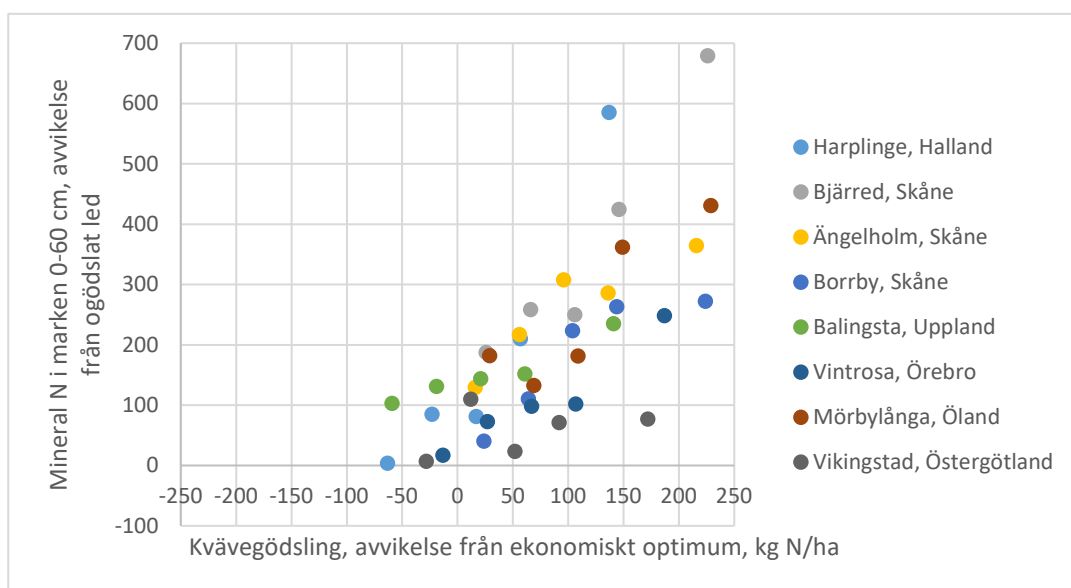
Hur avvikelser från ekonomiskt optimum påverkar mängden mineralkväve i marken efter skörd studerades (Figur 12–14). Figurerna visar hur avvikelser från ekonomiskt optimala kvävegivningar för varje plats och år påverkar markens mineralkvävemängd efter skörd. Mängden mineralkväve i marken i det ogödslade ledet har dragits ifrån den uppmätta mängden mineralkväve för att studera kvävegödslingens inverkan på mineralkvävet i marken. Resultatet visar att kvävegödslingarnivåer över ekonomiskt optimum ökade mineralkvävehalten i marken efter skörd alla år, men med en stor variation i effekter mellan åren och platserna. Störst ökning av mängden mineralkvävet i marken vid givor över ekonomiskt optimum hade platserna 2018, medan majoriteten av platserna 2016 och 2017 höll sig på låga nivåer. 2018 kom flera platser upp i nivåer över 100 kg N/ha redan på kvävenivåer under den ekonomiskt optimala givan. Få platser 2016 och 2017 kom upp i mineralkvävenivåer över 100 kg N/ha efter skörd, även vid de högsta kvävegivorna.



Figur 12. Kvävegödslingens påverkan på mängden mineralkväve i marken efter skörd vid avvikelse från ekonomiskt optimum 2016



Figur 13. Kvävegödslingens påverkan på mängden mineralkväve i marken efter skörd vid avvikelse från ekonomiskt optimum



Figur 14. Kvävegödslingens påverkan på mängden mineralkväve i marken efter skörd vid avvikelse från ekonomiskt optimum

## 5 Diskussion

### 5.1 Vilka faktorer påverkar mineralkvävemängden i marken efter skörd?

Mängden mineralkväve i marken efter skörd förväntades bero på mängden tillförd kvävegödsel, storleken på kväveskörden samt mängden mineralkväve som mineraliseras under växtsäsongen. Dessa faktorer testades i balansräkningen (Figur 11), vilken visade att det fanns ett signifikant samband mellan den uppmätta mängden mineralkväve efter skörd och den uträknade mängden. Däremot är sambandet inte perfekt vilket innebär att det utöver dessa faktorer finns andra faktorer som påverkar mängden mineralkväve i marken efter skörd, se avsnitt 5.1.3.

#### 5.1.1 Effekt av kvävegödselgivan på kväveskörden och mängden mineralkväve i marken efter skörd

En ökad kvävegödslingsnivå tillför kväve till marken vilket ger en ökad halt av mineralkväve i marken, framförallt i de höga kvävegödslingsnivåerna (Figur 5–7). En ökad kvävegödslingsnivå höjer även kväveskörden (Figur 2–4) vilket för bort en del mineralkväve från marken, men i de höga kvävegödslingsnivåerna var tillförseln av kväve större än bortförseln på flera platser. Hur stor effekt gödselgivan hade på mängden mineralkväve i marken efter skörd varierade mellan åren och platserna. En del platser med höga kväveskördar hade även en stor mängd mineralkväve i marken medan andra platser med höga kväveskördar hade liten mängd mineralkväve i marken, till exempel Skofteby 2017. Skillnaden beror troligtvis på markens mineralisering, dvs hur mycket mineralkväve som mineraliserades under säsongen.

Vid gödsling med kvävegivor över den ekonomiskt optimala kvävegivan ökade mängden mineralkväve i marken efter skörd, något som överensstämmer med tidigare studier (Delin & Stenberg, 2014; Gruvaeus, 2008), där den största ökningen av

mängden mineralkväve i marken skedde vid kvävegivor över den ekonomiskt optimala kvävegivan. I dessa studier var dock den optimala kvävegivan uträknad för havre respektive fodervete och tog inte hänsyn till pristillägget för protein i brödvete vilket gjordes i denna studie. Pristillägget för protein ger något högre ekonomiskt optimal kvävegiva, men studierna visar ändå ett liknande mönster. Att mineralkvävemängden ökade först kring ekonomiskt optimum stämde väl för åren 2016 och 2017, det finns alltså ett tydligt samband mellan ekonomiskt optimum och mängden mineralkväve i marken under ett normalår. Däremot visade resultatet från 2018 på höga halter mineralkväve i marken redan vid kvävegivor i nivå med ekonomiskt optimum, vilket innebär att den ekonomiskt optimala kvävegivan inte alltid innebär en liten mängd mineralkväve i marken. Under ett extremt år måste det finnas andra faktorer än just storleken på kvävegödselgivan som har en stor påverkan på mängden mineralkväve i marken.

### 5.1.2 Mineraliseringens effekt på mineralkvävet i marken

I balansberäkningen användes kväveskörden i det ogödslade ledet som ett mått på platsens mineralisering, där grödan tagit upp det kväve som varit tillgängligt i marken under växtsäsongen utan att kvävegödsel blivit tillsatt. Men det kan ge en missvisande bild om det finns yttre faktorer som påverkar kväveskörden exempelvis torka, vilket var fallet på flera platser under 2018. Torkstressen hos grödan resulterade i låga kväveskördar trots att mineralkvävehalten i marken var hög. Därför kan det vara bättre att uppskatta mineraliseringen genom att studera kväveskörden och det kvarvarande mineralkvävet i marken efter skörd i det ogödslade ledet. När kväveskörden eller mineralkvävet i marken i det ogödslade ledet varit högt, eller om båda två var höga samtidigt antas att mineraliseringen varit hög. Detta då grödan tagit upp stora mängder kväve och dessutom lämnat kvar en stor mängd i marken. Här antas även att mineraliseringen är densamma i alla led, då det är svårt att mäta om den ändras med ökad kvävegödslingsgiva. En ökad kvävegödslingsnivå skulle dock kunna innebära en ökad mängd näring till mikroorganismerna vilket kan leda till en ökad mineralisering (Kuzyakov *et al.*, 2000).

Det går inte att säga att kväveskörden och mineralkvävehalten i det ogödslade ledet är ett absolut värde på mineraliseringen under säsongen, eftersom det inte finns något utgångsvärde på mängden mineralkväve i marken och det finns inga mätningar på hur mycket som försvunnit under säsongen genom utlakning och denitrifikation, men det ger en indikation på hur den ser ut på de olika platserna.

Gemensamt för alla år är att platser med en hög mineralisering får en hög kväveskörd i alla led i kvävestegen samt en hög halt mineralkväve i marken efter skörd med undantag för Borby 2018, där torkstress kan varit en bidragande faktor till dålig kväveskörd men mineralkvävehalten i marken fortfarande var hög.

### 5.1.3 Andra faktorer som påverkar mineralkvävemängden i marken

#### *Väder*

Både nederbörden och temperaturen under säsongen påverkar grödan och markens processer. Mängden och tidpunkten för nederbörden påverkar både storleken på kväveskörden och mineraliseringen. Under 2018 kom stora delar av nederbörden för flera platser i augusti och endast små mängder kom tidigare under säsongen. Detta hämmade kväueupptaget och kväveskörden blev liten jämfört med flera platser 2016 och 2017, som fick nederbörden jämnt fördelat under perioden april till augusti. Även temperaturen påverkar grödans kväueupptag och markens processer. En hög temperatur på skyndar växtens utveckling vilket gör att grödan har kortare tid på sig att ta upp kväue än vid lägre temperaturer. Värme ökar även den mikrobiella aktiviteten i marken, vilket ger en ökad mineralisering om det samtidigt finns tillräckligt mycket fukt i marken. Medeltemperaturen skiljer sig mellan åren, då 2017 var kallare än de andra åren och 2018 hade extremt höga temperaturer. Högst kväueskörda uppnåddes 2017 då flera platser även hade en stor mängd mineralkväue i marken efter skörd. Vädret 2017 speglades av låga temperaturer både vår och sommar, något som gynnat grödans kväueupptag. Säsongen hade en jämnt fördelad nederbörden vilket gynnade grödans tillväxt och därmed även kväueupptaget samt mineraliseringen. Lägst kväueskörd under alla åren fick flera platser under 2018, då även mängden mineralkväue i marken var hög. Även andra kväuegödslingsförsök med torrt väder visar på en ökad mängd mineralkväue i marken när grödans tillväxt var dålig (Skudra & Ruza, 2019). Att kväueskörden var låg visar på att grödan inte tog upp det kväue som tillförts genom gödslingen, troligtvis för att grödan hämmats av det varma och torra vädret. Det blev då stora mängder mineralkväue kvar i marken. Att det fanns extremt stora mängder mineralkväue i marken efter skörd jämfört med tidigare år kan förklaras genom en process kallad "Birch effect", vilket innebär att stora mängder mineralkväue frigörs när en jord torkar ut och sedan återfuktas (Jarvis *et al.*, 2007). Den torra sommaren torkade ut jorden vilket troligtvis påverkade flertalet mikroorganismer negativt och de dog. När regnet kom och jorden återfuktades frigjordes stora mängder mineralkväue genom nedbrytningen av det organiska materialet av de mikroorganismer som klarat torkan.

#### *Jordart*

Även jordarten har en inverkan på kväueskörden och mineraliseringen då olika jordarter beter sig olika vid olika väderförhållanden. Jordarterna på försöksplatserna varierade från styva leror till lätta sandjordar, med mellanlera som vanligast förekommande jordart. Underlaget från de lättaste och tyngsta jordarterna är litet, vilket gör det svårt att dra några konkreta slutsatser kring jordartens betydelse för mineralkväuemängden.

2016 uppvisade platser med styva leror störst mängd mineralkväve i marken (Löt och Vreta Kloster), medan platser med lättare jordarter generellt sett hade en högre halt mineralkväve i marken 2017 och 2018 (Sörby gård & Bjärred 2017 samt Bjärred & Borrby 2018). Minst mängd mineralkväve i marken hade bland annat platser med mellanlera alla år, däremot innebar inte en mellanlera alltid en liten mängd mineralkväve i marken då platser med mellanlera även kunde ha höga halter mineralkväve i marken (Mörbylånga 2017). Då mängden mineralkväve i marken varierade går det inte att dra konkreta slutsatser kring mängden utifrån lerhalten.

Högst kväveskörd under alla åren fick två platser 2017, Mörbylånga och Borrby som består av en mellanlera respektive en moig lättlera, de hade även relativt höga halter mineralkväve i marken. Platserna innehåller ler som har en bra vattenhållande kapacitet och kan hålla kvar den nederbörd som kom under växtsäsongen vilket gynnar både kväueupptaget och mineraliseringen. Lågst kväveskörd hade flera platser under 2018, vilket kan förklaras med att de bestod av lätta jordarter med dålig vattenhållande förmåga vilket därmed skapat torkstress hos grödan då sommaren var varm och torr. Däremot hade några platser (Harplinge & Vintrosa 2018) lika höga skördar som flera platser under 2016 trots det varma vädret 2018. På Vintrosa kan det förklaras med att platsen fått något större nederbörd i början av säsongen än de andra platserna samt att jordarten är en mellanlera som har en bättre vattenhållande kapacitet. Varför Harplinge fått en förhållandevis hög skörd är oklart då platsen bestod av en lätt jord och nederbörden varit låg under säsongen.

Det finns en risk för förlust av kväve från marken under växtsäsongen. Tyngre jordar, framförallt lerjordar, riskerar att förlora en del av mineralkvävet i marken genom denitrifikation vid vattenmättnad och lättare jordar riskerar att förlora en del av mineralkvävet i marken genom utlakning vid stora vattenflöden. Risken för förluster var högre 2016 och 2017 då nederbörden var större än 2018. Troligen har stora delar av mineralkvävet 2018 stannat i marken då risken för utlakning och denitrifikation varit liten.

#### *Totalt kväueupptag*

Kväueupptaget från marken innefattar inte endast kväveskörden i kärnan utan även halm och rötter innehåller kväve. Mest kväve finns i kärnan i förhållande till de övriga växtdelarna där ungefär 40 % av växtens totala kväveinnehåll finns i halm och rötter (Börlling *et al.*, 2018). Eftersom mest kväve finns i kärnan så är kväveskörden från kärnan mest intressant att studera för att få en uppfattning om grödans kväueupptag, men storleken på biomassan av halm och rötter påverkar hur mycket mineralkväve som tagits upp i plantan. Det finns inga uppgifter på det totala kväueupptaget i försöksdata som använts, vilket gör att jag antar att förhållandet mellan kvävemängd i kärnan respektive halm och rötter är konstant mellan försöksplatserna

och mellan de olika kvävegödslingsnivåerna. Det skulle dock kunna finnas en skillnad i fördelningen av kväve i kärna, halm och rötter mellan olika höstvetesorter och för olika kvävegödselgivor, vilket kan ha påverkat kväveinnehållet i växten och som man inte ser när man bara tittar på kväveinnehållet i kärnan. Detta kan därmed vara en potentiell felkälla vid tolkningen av resultaten.

#### 5.1.4 Avvikande värden

Vissa uppmätta värden på mängden mineralkväve i marken i framförallt höga kvävegödselnivåer sticker ut från värdena i de lägre kvävegödselnivåerna. Det gäller mängden mineralkväve i marken i figurerna 5–6 samt figur 12. I figur 5 är mängden mineralkväve i marken vid den högsta kvävegödslingsnivån för platsen Vreta Kloster uppe på 505 kg N/ha, vilket är flera gånger högre än mängden i de lägre kvävegödselgivorna. Även Löt uppvisar en orimligt stor mängd mineralkväve i marken, men i detta fall i den näst högsta kvävegödselgivan, vilket rimligtvis borde vara lägre än den högsta kvävegödselgivan. Även i figur 5 finns avvikande värden på mängden mineralkväve i marken då Sörby gård har en stor mängd i högsta kvävegödslingsgivan och Mörbylånga hade en stor mängd vid den näst högsta kvävegivnan. Mängden mineralkväve i marken har analyserats genom att jordprov från de fyra upprepningarna slagits ihop och därefter har mängden mineralkväve i marken bestämts. Metoden är mindre kostsam än om jordprov tas från varje upprepning, men det gör det svårt att hitta felkällor. Om ett prov blivit kontaminerat eller annat fel uppstått tas det värdet ändå med i den totala mängden mineralkväve i marken.

## 5.2 Hur kan man undvika stora mängder mineralkväve i marken efter skörd?

Det är svårt att förutsäga hur mängden mineralkväve i marken kommer se ut efter skörd och hur man optimerar sin odling för att ha så liten mängd kvar som möjligt samtidigt som skörden både ska vara stor och ha en hög kvalitet. Den ekonomiskt optimala kvävegivan för ett fält verkar vara en bra kvävegiva att sträva efter, då mängden mineralkväve i marken främst ökar vid givor över optimal kvävegiva. Detta gäller framförallt för åren 2016 och 2017 då vädret var någorlunda normalt. För 2018, som var extremt varmt och torrt, var det svårt att förutsäga optimal kvävegiva och torkan gjorde att de optimala givorna var mycket låga.

Att anpassa gödslingen efter årets förutsättningar och väderlek är viktigt för att komma nära optimum, då resultaten visade att variationen i vädret hade stor påverkan på kväveskörden, mineraliseringen och mineralkvävemängden i marken. Ett bra sätt att anpassa gödslingen är att dela gödslingsgivan, vilket ger möjlighet att ändra



storleken på givorna beroende på temperaturen och nederbörden under säsongen. Ett annat sätt att variera gödslingsgivan är att anlägga nollrutor i fältet för att få en uppfattning om markens mineralisering under växtsäsongen, vilket ger möjlighet att justera kvävegivan beroende på hur mycket kväve marken kan leverera. Även tidigare års erfarenheter från odling på det aktuella fältet, till exempel normal skördenivå och markens kvävelevererande förmåga, bör tas med i beaktning när kvävegödslingsstrategin bestäms (Börling *et al*, 2018). Om det finns begränsande faktorer på fältet så som dåligt fungerande dränering eller dålig markstruktur, kan det medföra ett dåligt kväveutnyttjande. Då kan gödslingsgivan minskas eftersom en ökad kvävegödslingsnivå i kombination med dåligt kväveutnyttjande hos grödan annars kan resultera i en ökad mängd mineralkväve i marken och en ökad risk för kväveförluster.

### 5.3 Åtgärder vid stora mängder mineralkväve i marken

Det mineralkväve som finns i marken efter skörd riskerar att utlakas eller denitrifieras vid stora nederbörds mängder, däremot kommer det ligga kvar i marken om det inte tillförs vatten (Lindén, 2006; Gustafson, 1983). Om det är känt att marken innehåller stora mängder mineralkväve på hösten efter skörden av huvudgrödan kan detta fångas upp genom sådd av en ny huvudgröda eller en fånggröda. Grödan tillväxer på hösten och fångar upp mineralkvävet som finns löst i marken så det finns kvar i marken till grödan nästa vår. En jord som inte är bevuxen riskerar att läcka mer näring än en bevuxen eftersom det inte finns en gröda som tillväxer och är i behov av näringsämnen (Aronsson, 2000). Valet av bearbetningsmetod och bearbetningstidpunkt efter skörd påverkar hur mycket kväve som riskerar att utlakas. När bearbetningen sker tidigt på hösten stimuleras mineraliseringen och mängden mineralkväve i marken ökar jämfört med om bearbetningen sker sent på hösten eller efterföljande vår (Myrbeck, 2003). På våren kan man vara försiktig med att tillföra stora kvävegivor tidigt, då marken troligtvis har kvar mineralkväve sedan hösten om det inte har försvunnit under vintern. Höstvet har inte samma behov som till exempel höstraps att ha kväve tillgängligt tidigt på säsongen (Börling *et al*, 2018).

## 6 Slutsatser

- Ett flertal faktorer påverkar mängden mineralkväve i marken efter skörd. Tre viktiga faktorer är kvävegödslingsnivå, markens mineralisering och storleken på kväveskörden. Jordart, nederbörd och temperatur påverkar tidigare nämnda faktorer och därmed mängden mineralkväve.
- Kvävegödslingsgivor över ekonomiskt optimala kvävegiva ökar mängden mineralkväve i marken. Den ekonomiskt optimala kvävegivan är i många fall ett bra riktvärde för att uppnå en hög och kvalitativ skörd, samtidigt som stora mängder mineralkväve i marken undviks.
- Säsonger med begränsande tillväxtmöjligheter för grödan, som till exempel torka och höga temperaturer, verkar kunna leda till höga nivåer av mineralkväve i marken efter skörd även vid givor vid, eller till och med under den ekonomiskt optimala givan. Möjliga förklaringar till detta kan vara 1) ett ineffektivt kväveutnyttjande hos grödan p.g.a. torka och ökad stress vilket gör att den ekonomiskt optimala givan hamnar förhållandevis högt i relation till skördenivån och 2) den s.k. "Birch effect" där stora mängder kväve frigörs från nedbrytning av mikrober efter en torrperiod.
- Det är svårt att i förväg fastställa den optimala kvävegivan för ett fält eftersom den varierar mellan år, men genom att tillämpa nollrutor och delad kvävegiva och därigenom anpassa den totala givan efter årets förutsättningar förbättras möjligheterna att hamna på rätt nivå.

## Referenslista

- Adu, J.K. & Oades, J.M. (1978). *Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates*. Soil Biology and Biochemistry 10(2), 109-115.
- Aronsson, H. (2000). *Nitrogen turnover and leaching in cropping systems with ryegrass catch crops*. In. Uppsala : Swedish Univ. of Agricultural Sciences (Sveriges lantbruksuniv.).
- Aronsson, H. (2003a). *Höstgrödor - fånggrödor - utlakning : kvävedynamik och kväveutlakning i två växtföljder på moränlätter i Skåne : resultat från 1993-2003*. Uppsala: Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniv. (Ekohydrologi, 75).
- Aronsson, H. (2003b). *Långliggande utlakningsförsök på lätt jord i Halland och Västergötland : effekter av flytgödseltillförsel, insådda fånggrödor och olika jordbearbetningstidpunkter på kvävedynamiken i marken och kväveutlakningen : resultat från perioden 1998-2002*. Uppsala: Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniv. (Ekohydrologi, 74).
- Aronsson, H. (2006). *Växtnäringsutlakning från en lerjord med höstveteväxtföljd och vallträda*. Uppsala: Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet SLU. (Ekohydrologi, 93).
- Bouwman, A. (1996). *Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils*. Nutrient Cycling in Agroecosystems 46(1), 53-70.
- Börling, K., Hjelm, E., Kvarmo, P., Listh, U., Malgeryd, J. & Stenberg, M. (2018). *Rekommendationer för gödsling och kalkning 2019*. Jönköping.
- Delin, S. & Lindén, B. (2002). *Relations Between Net Nitrogen Mineralization and Soil Characteristics Within an Arable Field*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science 52(2), 78-85.
- Delin, S. & Stenberg, M. (2014). *Effect of nitrogen fertilization on nitrate leaching in relation to grain yield response on loamy sand in Sweden*. European Journal of Agronomy 52, 291-296.
- Engström, L. & Bergkvist, G. (2009). *Effects of three N strategies on tillering and yield of low shoot density winter wheat*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science 59(6), 536-543.
- Eriksson, J. (2011). *Marklära*. 1. uppl. ed. Lund: Studentlitteratur. ISBN 978-91-44-06920-3.
- Fageria, N.K. (1997). *Growth and mineral nutrition of field crops*. 2. ed., rev. and expanded. ed. New York: Marcel Dekker. (Books in soils, plants, and the environment. ISBN 0-8247-0089-9.
- Fogelfors, H. (2015). *Vår mat : odling av åker- och trädgårdsgrödor : biologi, förutsättningar och historia*. 1. uppl. ed. Lund: Studentlitteratur. ISBN 9789144092805.
- Gooding, M.J. (1997). *Wheat production and utilization : systems, quality and the environment*. Wallingford: CAB International. ISBN 0-85199-155-6.
- Graf, D.R.H., Zhao, M., Jones, C.M. & Hallin, S. (2016). *Soil type overrides plant effect on genetic and enzymatic N<sub>2</sub>O production potential in arable soils*. Soil Biology and Biochemistry 100, 125-128.
- Gruvæus, I. (2008). *Kvävebehov i höstvet under olika odlingsförutsättningar*. (Försöksrapport 2007 för mellansvenska försökssamarbetet.

- Gustafson, A. (1983). *Leaching of nitrate from arable land into groundwater in Sweden*. Environmental Geology 5(2), 65-71.
- Hansson, G. & Krijer, A.-K. (2016). *Kvävestrategi i höstvet*. Sverigeförsöken.
- Hay, R.K.M. (2006). *The physiology of crop yield*. 2. ed. ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing. ISBN 1-4051-0859-2.
- Jarvis, P., Rey, A., Petsikos, C., Wingate, L., Rayment, M., Pereira, J., Banza, J., David, J., Miglietta, F., Borghetti, M., Manca, G. & Valentini, R. (2007). *Drying and wetting of Mediterranean soils stimulates decomposition and carbon dioxide emission: the "Birch effect"*. Tree Physiology 27(7), 929-940.
- Jönsson, E. (2018). *Kväveform och strategi i höstvet* Sverigeförsöken.
- Jönsson, E. & Hansson, G. (2017). *Kvävestrategi i höstvet*. In. Sverigeförsöken.
- Kuzyakov, Y., Friedel, J.K. & Stahr, K. (2000). *Review of mechanisms and quantification of priming effects*. Soil Biology and Biochemistry 32(11), 1485-1498.
- Lindén, B. (2005). *Kvävemineralisering under olika årstider och nitratbildning efter flytgödselspridning på hösten-inverkan på grödornas kväveförsörjning och på utlakningsrisken*. Skara: SLU, Institutionen för växtvetenskap.
- Lindén, B. (2006). *Kvävemineralisering och utlakning av kväve och fosfor på en lerjord vid Lanna i Västergötland : inverkan av kvävegödslingsintensitet, jordbearbetning på hösten och engelskt rajgräs som insädd fånggröda*. Uppsala: Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 91).
- Lindén, B. (2017). *Mineralkväve i marken och kväveutlakning i olika odlingssystem*. In. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd ed. ed. Amsterdam ;; Academic Press. (Mineral nutrition of higher plants. ISBN 1-283-24987-1.
- Myrbeck, Å. (2003). *Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjord : slutrapport från försök 1999-2002*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniv. (Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, Sveriges lantbruksuniversitet, 105.
- Nilsson, A. (2016). *Kvävestrategiers effekt på skörd och skördekomponenter i höstvet 2013-2015*. *Effects of nitrogen fertilization strategies on yield and yield components in winter wheat 2013-2015*.
- Nilsson, J. (2000). *Kvävemineralisering och mineraliseringsstyrande faktorer i skånsk åkermark : examensarbete*. Diss. Uppsala:Sveriges lantbruksuniv.
- Skudra, I. & Ruza, A. (2019). *Effect of nitrogen fertilization management on mineral nitrogen content in soil and winter wheat productivity* In. Estonia University of life science
- Smith, D.L. & Hamel, C. (1998). *Crop yield : physiology and processes*. Berlin ;; Springer. ISBN 3-540-64477-6.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. (1999). *Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop*. Soil & Tillage Research 50(2), 115-125.
- Taiz, L., Zeiger, E., Möller, I.M. & Murphy, A.S. (2015). *Plant physiology and development*. 6. ed. ed. Sunderland, Massachusetts, U.S.A: Sinauer Associates. ISBN 1605353531.
- Tate, R.L. (2000). *Soil microbiology*. 2. ed. ed. New York: John Wiley & Sons. ISBN 0-471-31791-8.
- White, J. & Edwards, J. *Wheat growth & development*. [online] Available from: [https://www.dpi.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0008/516185/Procrop-wheat-growth-and-development.pdf](https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0008/516185/Procrop-wheat-growth-and-development.pdf). [Accessed 2019-04-23].
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. (1974). *A decimal code for the growth stages of cereals*. Weed Research 14(6), 415-421.